

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет ИТМО»
(Университет ИТМО)**

Кронверкский пр-т, д. 49, лит. А,
Санкт-Петербург, Россия, 197101
Тел.: (812) 232-97-04 | Факс: (812) 232-23-07
od@itmo.ru | itmo.ru

21.09.2021 № 4-25/912

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский
университет ИТМО»
доктор технических наук, профессор



В.О. Никифоров

«21» сентября 2021 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Сопова Евгения Александровича
на тему «Обобщенный метод синтеза гиперэвристических эволюционных
алгоритмов оптимизации сложных систем», представленную на соискание
учёной степени доктора технических наук
по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка
информации (космические и информационные технологии)

Актуальность диссертации для науки и практики

Теоретические исследования и практика применения эволюционных алгоритмов показывают, что для достижения такой их эффективности, которая была бы адекватна современному уровню сложности решаемых ими задач, необходима настройка как их параметров, так и их структуры, причём не только статически (под класс решаемых задач), так и динамически (непосредственно в процессе их решения).

Несмотря на такой взгляд на предметную область, разделяемый большинством исследователей, текущее состояние методов для такой настройки — а в особенности методов, способных работать со сложными практическими задачами — нельзя назвать удовлетворительным. В свете этого диссертационная работа Сопова Е.А., посвящённая как параметрической настройке, так и выбору наиболее адекватной решаемой задаче структуры эволюционных алгоритмов — причём как статически (в оффлайн-режиме), так и динамически (в онлайн-режиме) — представляется крайне актуальной.

Структура работы

Диссертационная работа изложена на 305 страницах машинописного текста, состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и шести приложений. Стиль изложения и качество оформления работы соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям, текст легко читается, число опечаток крайне мало для текста подобного объёма.

Первая глава представляет собой расширенное введение в предметную область, формальные описания постановок задач и методов, применяемых в дальнейшем во всех остальных главах диссертации. Остальные главы содержат дополнительные элементы введения, специфичные для конкретных глав, описания разработанных автором методов, постановок экспериментальных исследований (как на модельных задачах, так и на задачах, имеющих непосредственное практическое значение), полученные результаты и их обсуждение. Объёмные таблицы и рисунки, относящиеся к результатам экспериментальных исследований, выделены в приложения для повышения читаемости основного текста.

Основные научные и практические результаты

Работа содержит следующие научные результаты:

- Конструктивная гиперэвристика, состоящая в построении операторов селекции с помощью генетического программирования с целью повышения общей эффективности популяционных эволюционных алгоритмов (вторая глава).
- Селективная гиперэвристика, управляющая вычислительными бюджетами (с помощью изменения размеров популяций) эволюционных алгоритмов, предназначенных для решения задач нестационарной оптимизации (третья глава).
- Селективная гиперэвристика, работающей аналогичным образом с мультимодальными эволюционными алгоритмами (четвёртая глава).
- Селективная гиперэвристика, работающая с алгоритмами, предназначенными для решения задач большой размерности (пятая глава).
- Система общих рекомендаций по порядку применения на практике разработанных в диссертации методов в зависимости от особенности решаемых задач (шестая глава).

Каждый результат сопровождается его в достаточной мере формальным описанием, позволяющим выполнить его независимую от автора реализацию, а также описанием экспериментальных исследований, демонстрирующих преимущества соответствующего результата как на модельных задачах, так и на задачах практического значения.

Изложенные теоретические положения и практические рекомендации вносят существенный вклад в решение проблемы автоматизированного (с минимальным участием или без участия человека) синтеза эволюционных алгоритмов решения сложных задач глобальной оптимизации с алгоритмически заданными целевыми функциями, включая задачи глобальной оптимизации большой размерности, задачи аппроксимации множества экстремумов и задачи оптимизации в нестационарной среде. Прочие научные результаты, отражённые в диссертационной работе, имеют существенное значение для теории и практики оптимизации сложных систем.

Научная новизна

На наш взгляд, научная новизна в данной работе складывается из двух составляющих. Первая составляющая относится к конструктивной гиперэвристике для построения операторов селекции с помощью древовидного генетического программирования, чего, насколько нам известно, ранее не предлагалось, а ближайший подобный метод использует существенно менее человекочитаемый формализм. В силу продемонстрированной на практике эффективности, а также весьма разумно выглядящих получающихся в результате форм вероятностных распределений, данный подход — особенно при условии устранения некоторых недостатков, которые будут описаны далее — может найти существенное практическое применение, а также вызвать интерес у исследователей-теоретиков.

Вторая составляющая относится ко всем предложенным селективным гиперэвристикам, имеющим между собой много общего. Разумеется, сама идея построения селективных гиперэвристик, управляющих вычислительными бюджетами подчинённых эволюционных алгоритмов, сама по себе не нова. Однако огромное число степеней свободы, возможных как в способах оценки эффективности этих алгоритмов, так и в способах влияния на их вычислительные бюджеты, а также в вопросах комбинирования результатов их работы, приводит к тому, что методы решения даже кажущихся частными вопросов всё ещё имеют несомненную научную новизну. Именно выбор предложенных конкретных вариантов для каждого конкретного случая, корректно мотивированный для каждого из рассмотренных мер сложности задач (своя мера в каждой главе) и проверенный на практике, и составляет в данном случае основную научную новизну.

Степень обоснованности и достоверность основных научных результатов

Достоверность достигнутых результатов подтверждается проведением большого количества вычислительных экспериментов на разнообразных наборах модельных задач и задач практического значения, а также практическим внедрением результатов. Декларируемые различия в результатах работы стохастических алгоритмов подтверждаются, в случае наличия доступа к необходимым данным, результатами корректно применённых статистических тестов. Результаты не противоречат общепринятым в данной области исследования теоретическим положениям.

Практическая значимость работы

Основные разработанные в диссертации методы и подходы не только имеют прямую практическую направленность, но уже имеют реализацию на языке программирования Python и прошли апробацию при решении практических задач. Их способность к повышению эффективности популяционных эволюционных алгоритмов при решении сложных практических задач оптимизации, в том числе весьма далёких от предметных областей, затронутых в данной диссертации, не вызывает никаких сомнений.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведённых в диссертации

Ряд результатов, приведённых в диссертации, может быть использован даже в случае, когда для решения задачи не имеется значительного числа различных эволюционных алгоритмов, между которыми следовало бы осуществлять интеллектуальный выбор. К таким результатам относится, например, конструктивная гиперэвристика синтеза операторов селекции, применимая непосредственно к практически любым популяционным эволюционным алгоритмам, имеющим оператор селекции традиционного вида (для целесообразности её применения необходимо лишь наличие серии похожих задач оптимизации сходного размера и сложности, решение которых следует ускорить) и практически любым их реализациям. Также стоит отметить некоторые вспомогательные результаты в области large-scale optimization, также являющиеся частью диссертации: так, метод динамической декомпозиции псевдобулевых задач оптимизации на основе весьма остроумного применения дифференциальной эволюции вполне может быть более-менее непосредственно использован для работы с практически любым эволюционным алгоритмом, решающим такие задачи.

Селективные гиперэвристики, также предложенные в диссертации и в некотором смысле составляющие её стержень, целесообразно применять, когда имеется несколько, но не очень много, хотя бы отчасти совместимых

друг с другом эволюционных алгоритмов, из которых имеет смысл (динамически) выбирать наиболее подходящий, которым возможно менять в процессе работы размер популяции, а также, в ряде случаев, «вживлять» в популяции решения, полученные другими алгоритмами. Автор диссертации убедительно показал, что в области его интересов такие ситуации возникают достаточно часто, однако некоторые эволюционные алгоритмы с более сложной организацией популяции (например, многие многокритериальные алгоритмы) поддаются интеграции с предложенными гиперэвристиками лишь с существенными дополнительными усилиями, которые могут перевесить преимущества их применения.

По-видимому, у предложенных гиперэвристик имеются неявные и пока что слабоформализуемые ограничения сверху на число алгоритмов, между которыми целесообразно выбирать: если кандидатов в алгоритмы набирается несколько десятков, что можно себе легко представить в условиях ныне существующего «зоопарка» мало отличающихся друг от друга метаэвристик, то, вероятнее всего, прямое применение гиперэвристик для их выбора ни к чему хорошему не приведёт. В силу этого следует рекомендовать сперва выполнить предварительный отбор таких алгоритмов с целью сокращения их числа хотя бы до одного десятка.

Замечания по диссертационной работе

По диссертационной работе имеются следующие замечания, имеющие, однако, характер рекомендаций для дальнейшего развития предлагаемых методов и подходов:

1) Гиперэвристика синтеза операторов селекции существенным образом использует текущее значение размера популяции эволюционного алгоритма. Строго говоря, для каждого нового значения размера популяции, даже незначительно отличающегося, синтез следует запускать заново — простое пропорциональное масштабирование из общих соображений будет работать неудовлетворительно, так как различные фрагменты кривой должны подвергаться масштабированию с различными коэффициентами, исходя из существующих теоретических соображений об асимптотическом характере их поведения. В то же время потенциал этой гиперэвристики таков, что она способна генерировать выражения для операторов, учитывающие и такие зависимости тоже. В силу этого перспективным направлением по дальнейшему её улучшению видится её модификация, использующая размер популяции в качестве переменной и различные размеры популяции при вычислении приспособленности.

2) Предложенные селективные гиперэвристики направлены на различные аспекты работы эволюционного алгоритма и в силу этого,

теоретически, должны достаточно легко комбинироваться, что и предлагает обобщённый метод, изложенный в главе 6. Однако в силу того, что каждая такая гиперэвристика подразумевает разбиение популяции эволюционного алгоритма на подпопуляции меньшего размера, фактически их комбинирование может приводить к использованию популяций значительных размеров, что, в свою очередь, может замедлить собственно поиск решения задачи оптимизации. Несколько неочевидным также является вопрос выбора конкретного способа миграции особей между подпопуляциями. Кроме того, представляется достойным исследования поиск адекватного порядка комбинирования этих гиперэвристик — несмотря на то, что технически они могут быть скомбинированы в произвольном порядке, неочевидно, что порядок не будет влиять на итоговую производительность. Эти вопросы в диссертации не исследовались (и даже при промышленных применениях гиперэвристики использовались поодиночке), хотя для использования на практике какие-либо рекомендации по этому поводу были бы полезны.

3) Указанные гиперэвристики управляют вычислительными бюджетами подчинённых эволюционных алгоритмов главным образом путём изменения их размеров популяций. Однако не для всякого алгоритма большой размер популяции определённо выгоден — из общих соображений слишком большие размеры популяции замедляют средний прогресс в пересчёте на одно вычисление оптимизируемой функции, а в некоторых известных теоретиках особых случаях слишком большие популяции оказываются ещё более вредны, приводя порой даже к экспоненциальному замедлению сходимости к оптимуму. Представляется возможной некоторая общая модификация предложенных гиперэвристик, способная определять такое нештатное поведение и противодействовать ему.

Заключение по диссертационной работе

Вышеуказанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы. Диссертация Сопова Е.А. является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком уровне. В ней разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как новое научное достижение в области системного анализа и обработки информации.

Основные результаты исследований опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Автором опубликовано более 60 работ, в том числе 20 статей в российских рецензируемых периодических изданиях, 39 работ в зарубежных изданиях, включённых в международную базу цитирования Scopus, 26 работы в зарубежных изданиях, включённых в

международную базу цитирования Web of Science. В Роспатенте зарегистрированы 24 программы для ЭВМ.

Работа целиком посвящена разработке методов и алгоритмов решения задач оптимизации, принятия решений и обработки информации, следовательно, работа полностью соответствует пункту 4 паспорта специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации.

Автореферат полностью соответствует основному содержанию диссертации и даёт полное представление о этапах и результатах диссертационной работы.

Работа отвечает требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор – Сопов Евгений Александрович заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (космические и информационные технологии).

Отзыв обсуждён и одобрен на заседании международного научного центра «Компьютерные технологии» (протокол № 8 от 31 августа 2021 г.), присутствовали 14 человек.

Главный научный сотрудник
факультета информационных технологий и программирования
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО»
доктор технических наук, профессор

Шалыто А.А.

Руководитель лаборатории эволюционных вычислений
международного научного центра «Компьютерные технологии»
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО»
кандидат технических наук

Буздалов М.В.

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО»
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А.
тел. +7 (812) 232-97-04
адрес электронной почты: od@mail.ifmo.ru